

WAVELENGTH MULTIPLEX TRANSMISSION SYSTEM

Publication number: JP2001036468

Publication date: 2001-02-09

Inventor: SANO AKIHIDE; MIYAMOTO YUTAKA; KUWABARA SHOICHIRO

Applicant: NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE

Classification:

- international: H04B10/02; H04B3/04; H04B10/18; H04J14/00;
H04J14/02; H04B10/02; H04B3/04; H04B10/18;
H04J14/00; H04J14/02; (IPC1-7): H04B10/02;
H04B3/04; H04B10/18; H04J14/00; H04J14/02

- European:

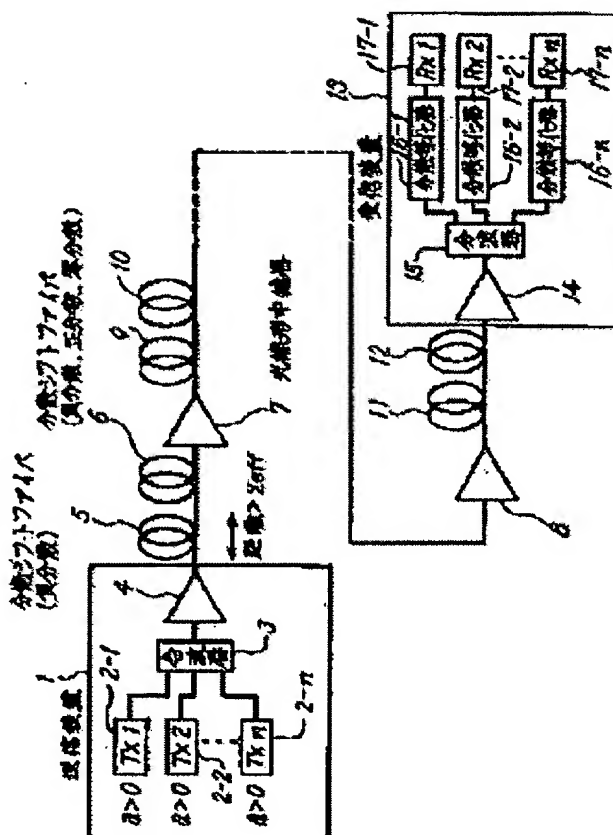
Application number: JP19990204072 19990719

Priority number(s): JP19990204072 19990719

Report a data error here

Abstract of JP2001036468

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress the deterioration of a waveform caused by both quantities and to increase permitted fiber input power by setting optimum total dispersion quantity with respect to SPM to zero dispersion being optimum total dispersion quantity with respect to XPM. **SOLUTION:** Light-type repeaters 7 and 8 arranged for compensating the loss of a transmission fiber are arranged between a transmitter 1 and a receiver 13, which are connected to each other through a transmission optical fiber. The chirp coefficient of a transmission signal is set to be zero or positive and the dispersion value of the transmission fiber is set so that a local dispersion value becomes negative with respect to signal light wavelengths in a range from the input terminals of respective transmission periods to valid mutual operation length. Dispersion equalizers 16-1 to 16-n equalize total dispersion quantity in the respective wavelengths so that it becomes almost zero. Thus, a power limit by the non-linear optical effect of the transmission fiber can largely be relieved in an area where the chirp coefficient of the transmission signal is zero or positive and the local dispersion value of the transmission fiber is negative dispersion.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-36468

(P2001-36468A)

(43) 公開日 平成13年2月9日 (2001.2.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	M 5 K 0 0 2
10/18		3/04	A 5 K 0 4 6
3/04		9/00	E
H 0 4 J 14/00			
14/02			

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平11-204072

(22) 出願日 平成11年7月19日 (1999.7.19)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 佐野 明秀

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 宮本 裕

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100074066

弁理士 本間 崇

最終頁に続く

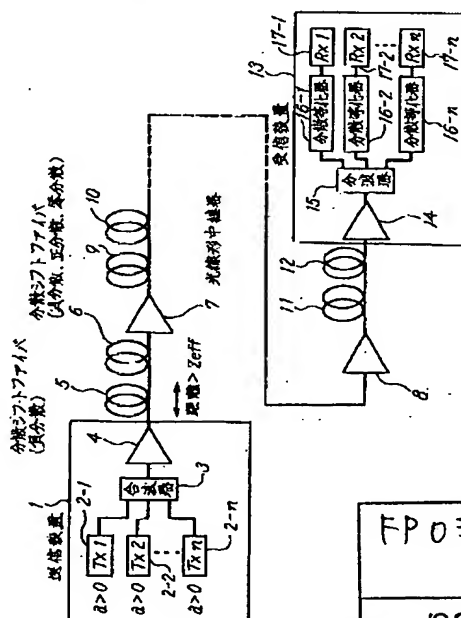
(54) 【発明の名称】 波長多重伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 長距離波長多重光伝送システムに関し、誤り率の低い高品質伝送システムを構築することが可能であり、また、中継器間隔を延長して経済的に構築することのできる波長多重伝送システムの実現を目的とする。

【解決手段】 互いに異なる波長をもつ複数の光送信器と、波長多重回路と、伝送ファイバと、伝送ファイバの損失を補償する光線形中継器と、波長分離回路と、それぞれの波長に対応した光受信器とを含んでなる波長分割多重光伝送システムにおいて、光送信器のチャープ係数が零または正であり、伝送ファイバの少なくとも入力端から非線形相互作用長までの範囲の局所分散値がすべての波長に対して正常分散であり、伝送ファイバと分散等化器の分散量の和からなる総分散量がすべての波長に対して零となるように分散等化する手段を設けて構成する。

本発明の第1の実施例を示すブロック図。



FP03-0109
JP
08.7.-1
ALLOWED

【特許請求の範囲】

【請求項1】 互いに異なる波長をもつ複数の光送信器と、波長多重回路と、伝送ファイバと、伝送ファイバの損失を補償する光線形中継器と、波長分離回路と、それぞれの波長に対応した光受信器とを含んでなる波長分割多重光伝送システムにおいて、

光送信器のチャープ係数が零または正であり、伝送ファイバの少なくとも入力端から有効相互作用長までの範囲の局所分散値がすべての波長に対して正常分散であり、

伝送ファイバと分散等化器の分散量の和からなる総分散量がすべての波長に対して零となるように分散等化する手段を設けたことを特徴とする波長多重伝送システム。

【請求項2】 それぞれの波長に対応する光受信器ごとに光分散等化器を具備せしめたことを特徴とする請求項1に記載の波長分割多重光伝送システム。

【請求項3】 各波長に共通の分散等化器および分散スロープ等化器を送信端、または光線形中継器内、または受信端に備えたことを特徴とする請求項1に記載の波長多重伝送システム。

【請求項4】 光送信器は、伝送ファイバの少なくとも入力端から有効相互作用長までの範囲の局所分散波長に対して短波長側に設定できる波長可変手段を有することを特徴とする請求項1～請求項3のいずれか1項に記載の波長多重伝送システム。

【請求項5】 光送信器のチャープ係数が0以上1以下であることを特徴とする請求項1～請求項4のいずれか1項に記載の波長多重伝送システム。

【請求項6】 伝送ファイバの少なくとも入力端から有効相互作用長までの範囲の局所分散値がすべての波長に対して -3ps/nm/km 以上 0ps/nm/km 以下であることを特徴とする請求項1～請求項5のいずれか1項に記載の波長多重伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】
【発明の属する技術分野】本発明は、長距離波長多重光伝送システムに関し、特に、伝送ファイバ入力パワーを増大せしめて、誤り率の低い高品質伝送システムを実現することが可能であり、また、中継器間隔を延長して経済的に構築することのできる波長多重伝送システムに係る。

【0002】

【従来の技術】長距離光伝送システムでは近年、多波長を同時に増幅できる広帯域の光増幅器の出現により、波長分割多重方式を用いた大容量伝送システムが実現されている。波長多重伝送システムの更なる大容量化、低コスト化、保守運用面での簡素化を図るためには、

【0003】(1) 伝送路の間に用いられる線形光中継器の間隔を拡大する。

(2) 1波長あたりの伝送速度を大きくする。

(3) 各信号波長間の間隔を狭くする。

等の変更が必要である。

【0004】上記(1)および(2)の変更に対して、受信端でのSN比を一定とするためには、各波長あたりの伝送ファイバ入力パワーを増大することが必要となるが、一方では、このパワーの増大により、以下に挙げるような伝送ファイバの波長分散値と、ファイバ中での非線形光学効果による特性劣化のために入力パワーが制限される。

【0005】(a) 零分散波長近傍での4光波混合(FWM)によるクロストーク

(b) 自己位相変調効果(SPM)及びファイバ波長分散による波形歪

(c) 相互位相変調効果(XPM)及びファイバ波長分散によるクロストーク

従来、これらの劣化要因に対しては、それぞれ以下のような対策が講じられていた。

【0006】(a) 伝送ファイバの零分散波長が信号光の波長帯域と重ならないようにする(参考文献:M.Jinno et al., IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 10, p. 454, 1998)、あるいは波長間隔を不等間隔に設定し、FWMが発生しても他のチャネルに干渉しないようにする(参考文献:F. Forghieri et al., IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 6, p. 754, 1994)。

【0007】(b) 送信端、線形光中継器内、または、受信端に配置した分散等化器により、パルス広がりをもっとも小さくするように、総分散量を、調整する(参考文献:Y. Miyamoto et al., Electron. Lett., vol. 30, p. 797, 1994)。

【0008】(c) 局所分散値の大きなファイバの使用、あるいは波長間隔を広げることで、波長間のウオークオフを大きくすることにより、相互位相変調効果を軽減する。分散等化を行って総分散量を零に近づけることにより強度変調成分を最小にする(参考文献:R. A. Saunders et al., Electron. Lett., vol. 32, p. 2206, 1996)。

【0009】1波長あたりの伝送速度が比較的小さい伝送システムでは、これらの対策により、前述した劣化要因を抑圧することが可能である。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、1波長あたりの伝送速度が高速の大容量波長多重伝送システムでは、以下のような問題点があった。SPMと波長分散の複合効果によるチャージングのため、パルス広がり最小となる総分散量は一般に零分散と異なり、送信信号のチャージング、伝送ファイバの局所分散値に依存する。

【0011】一方XPMによる位相変調は、総分散量が零からずれるに従って、PM-AM変換効果により強度変調に変換されるため、これがクロストークを引き起こす。すなわち、SPMに対する最適総分散量とXPMに

対する最適総分散量が異なるため、両者による波形歪を同時に等化することができない。

【0012】本発明は、このような超高速送受信器より構成される大容量波長多重伝送システムにおいて、SPMに対する最適総分散量を、XPMに対する最適総分散量である零分散とすることにより、両者による波形劣化を抑圧し、許容ファイバ入力パワーを増加させることを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、上記目的は前記「特許請求の範囲に記載した手段により達成される。すなわち、請求項1の発明による波長多重伝送システムは、複数の異なる波長の光送信器と、波長分割多重回路と、伝送ファイバと、伝送ファイバの損失を補償する光線形中継器と、波長分離回路と、それぞれの波長に対応した光受信器とを含んでなる波長分割多重光伝送システムにおいて、

【0014】光送信器のチャープ係数 α を、0または正とし、入力端から有効相互作用長 z_{eff} までの範囲の局所分散値がすべての波長に対して正常分散（負分散）であり、各波長における総分散量が、ほぼ零となるように分散等化する手段を設けたことを特徴とする。

【0015】ここで、 α は電界の位相 ϕ 及び振幅 E を用いて、“数1”で与えられ、 z_{eff} は伝送ファイバの区間長 L 及び損失係数 a を用いて“数2”で与えられる。

【0016】

【数1】

$$\alpha = \frac{d\phi/dt}{(1/E)(dE/dt)}$$

【0017】

【数2】

$$(1 - \exp(-aL))/a$$

【0018】すでに敷設されている伝送ファイバに対しては、伝送ファイバの入力端から有効相互作用長までの範囲の局所零分散波長に対して短波長側に各信号光波長を設定する波長可変手段を、送信装置内に設けると良い。

【0019】さらに、伝送ファイバの分散値は分散スロープを持つため、すべての信号光波長に対して総分散量を零にするためには、波長ごとに分散等化器を用意する必要があるが、分散スロープ等化器を用いることによりひとつの分散等化器と分散スロープ等化器により、すべての信号光波長に対して総分散量を零にすることができる。

【0020】請求項2の発明は、前記請求項1に記載の波長分割多重光伝送システムにおいて、それぞれの波長に対応する光受信器ごとに光分散等化器を具備せしめて構成したものである。

【0021】請求項3の発明は、前記請求項1に記載の波長分割多重光伝送システムにおいて、各波長に共通の分散等化器および分散スロープ等化器を送信端、または光線形中継器内または受信端に備えて構成したものである。

【0022】請求項4の発明は、前記請求項1～請求項3のいずれか1項に記載の波長多重伝送システムにおいて、光送信器を、伝送ファイバの少なくとも入力端から有効相互作用長までの範囲の局所零分散波長に対して短波長側に設定できる波長可変手段を有せしめて、構成したものである。

【0023】請求項5の発明は、前記請求項1～請求項4のいずれか1項に記載の波長多重伝送システムにおいて、光送信器のチャープ係数が0以上1以下となるように構成したものである。

【0024】請求項6の発明は、前記請求項1～請求項5のいずれか1項に記載の波長多重伝送システムにおいて、伝送ファイバの少なくとも入力端から有効相互作用長までの範囲の局所分散値がすべての波長に対して -3 ps/nm/km 以上 0 ps/nm/km 以下であるように構成したものである。

【0025】

【発明の実施の形態】以下本発明の実施の形態に関し、実施例に基づいて説明する。図1は本発明の第1の実施例を示す図である。同図において、数字符号1は送信装置、2-1～2-nは、それぞれ送信機(Tx)、3は合波器、4、14は光増幅器、5、9、11は分散シフトファイバ（負分散）、6、10、12は分散シフトファイバ（負分散、正分散、零分散）、7、8は光線形中継器、13は受信装置、15は分波器、16-1～16-nは分散等化器、17-1～17-nは、受信機(Rx)を表している。

【0026】同図に示した波長多重伝送システムは、伝送用光ファイバを介して接続された送信装置1と受信装置13との間に、伝送ファイバの損失を補償するために設置された光線形中継器7、8を配置した構成である。

【0027】本発明の特徴は、送信信号のチャープ係数を0または正とし、各伝送区間の入力端から有効相互作用長までの範囲ではすべての信号光波長に対して局所分散値が負となるように伝送ファイバの分散値を設定し、かつ各波長における総分散量をほぼ零になるように分散等化器により等化したところにある。

【0028】送信装置1は、波長の異なるいくつかの光送信回路(Tx1～Txn)と、異なる波長の信号を合波する合波器3と、合波後の信号を増幅する後置光増幅器4よりなる。

【0029】受信装置13は伝送後の光信号を増幅する前置光増幅器14と、波長多重された信号を分離する分波器15と、各波長における伝送路の総分散量を補償する分散等化器16-1～16-nと、各波長の光信号を

受信して再生された電気信号を出力する光受信回路 ($R_{x1} \sim R_{xn}$) 17-1~17-nとを備える。

【0030】光増幅器、光線形中継器としては、例えばエルビウム添加ファイバ増幅器が用いられる。合波器及び分波器には、例えばアレイ導波路格子フィルタが用いられる。分散等化器には、例えばチャープドファイバグレーティングが用いられる。送信信号のチャープは、変調器にMach-Zehnder型変調器、あるいは電界吸収型変調器を用いた場合でも、駆動信号のバイアス制御により制御が可能である。

【0031】図2に、1波長で伝送した場合の伝送ファイバの局所分散値及び総分散量に対するアイ開口度のファイバ入力パワー依存性のシミュレーション結果を示す。ここで、それぞれの曲線は各入力パワーにおけるアイ開口度1dBとなる等高線を示しており、曲線で囲まれた内側の部分が各入力パワーでの伝送可能領域となる。このシミュレーションでは、線形中継器間隔100km、トータル400kmの伝送路を仮定し、各区間での分散値は長手方向に一様であると仮定している。

【0032】この計算結果からわかるように、(c)で示す送信器のチャープパラメータ α が+0.7の場合には、ファイバ入力パワーが+7あるいは+10dBmのハイパワー領域においても、局所分散値が負分散である領域では総分散量が零分散近傍で伝送可能領域が存在する。

【0033】一方、(a)で示す α が-0.7の場合には、どの局所分散値においても総分散量が正分散の領域に伝送可能領域が存在することがわかる。また(b)で示す $\alpha=0$ の場合には、局所分散値が負の領域で、零分散近傍で伝送可能領域が存在するが、最適総分散量は、 $\alpha=+0.7$ の場合に比べて正分散側にシフトしているのがわかる。

【0034】この結果は以下のように説明できる。すなわち、ファイバへの入力パワーが低い線形伝送の領域では、 $\alpha>0$ の場合には、負分散側でパルス圧縮が起こるため、アイ開口度が良い。これに対し、入力パワーの増大により、SPMによる非線形チャープの影響で、このパルス圧縮が起きる分散量が正分散側にシフトしていく。

【0035】一方、 $\alpha<0$ では線形伝送領域でも正分散側でパルス圧縮が起きるため、パワーを増加させても零分散近傍が最適値になることはないことによる。この結果は1波長での計算結果であるが、波長多重システムに拡張した場合でも、SPMの効果は1波長の場合と同様であり、これにFWM及びXPMの効果が重畳されることになる。

【0036】FWMの影響は、すでに述べたように、零分散波長領域を信号光波長に使用するのを避ける、あるいは信号の波長間隔を不等間隔化することにより回避できるのは周知の事実であるが、XPMに対しては、XP

Mで生じた位相変調成分のPM-AM変換効果による強度変調への変換を最小化するために、総分散値を零分散に等化する必要がある。

【0037】このように、 α が負の条件では、SPMのみを考慮した場合の総分散量の最適値と、XPMの効果を考慮に入れた最適値である零分散と異なるため、 $\alpha \geq 0$ の場合に比べて入力パワーが制限される。これに対して、 α が正または0でかつ伝送ファイバの局所分散値が負分散の領域では、伝送ファイバの非線形光学効果によるパワー制限を大きく緩和することが可能であることがわかる。

【0038】図3は本発明の第2の実施例を示す図である。同図において、数字符号21は送信装置、22-1~22-nは、それぞれ送信機(Tx)、23は合波器、24、34は光増幅器、25、29、31は分散シフトファイバ(負分散)、26、30、32は分散シフトファイバ(負分散、正分散、零分散)、27、28は光線形中継器、33は受信装置、35は分波器、36-1~36-nは分散等化器、37-1~37-nは受信機(Rx)、38-1~38-nは波長可変手段を表している。

【0039】既設の伝送路を用いて、単一波長伝送システムを波長多重伝送システムにアップグレードする場合には、伝送ファイバの零分散波長はすでに決まっているため、信号光波長の波長帯域が固定されている送信装置では所望の分散値を得ることが困難である。

【0040】この場合には、送信装置内に波長可変手段を設けて、信号光波長を伝送路の零分散波長よりも短波長側に設定することにより、上記第一の実施例の場合と同様の効果を得ることができる。すなわち、各伝送区間での零分散波長を λ_m とすると、信号光波長 λ_{sj} は、 $\lambda_{sj} < \lambda_{0i}$ (for $j=1 \sim n$, $i=1 \sim N$ となるように設定すればよい。

【0041】伝送ファイバとして例えば分散シフトファイバが敷設されている場合には、ファイバの零分散波長は1.55 μ m程度であるため、信号光波長はこれよりも短波長帯を用いればよい。波長可変手段としては、例えば各送信光源にDBR-LDや、外部共振器付LDなどが使用できる。

【0042】光線形中継器としては、信号光として1.53 μ m程度であればエルビウム添加ファイバ増幅器や半導体光増幅器が使用できる。またさらに短波長側では、トリウム添加ファイバ増幅器や、半導体光増幅器などが使用できる。信号光波長を伝送路の零分散波長の短波長側に設定することにより、局所分散値は負分散となるので、前記第一の実施例と同様の効果が得られることは説明するまでもない。

【0043】図4は本発明の第3の実施例を示す図である。同図において、数字符号41は送信装置、42-1~42-nは、それぞれ送信機(Tx)、43は合波

器、44、54は光増幅器、45、49、51は分散シフトファイバ（負分散）、46、50、52は分散シフトファイバ（負分散、正分散、零分散）、47、48は光線形中継器、53は受信装置、55は分波器、56は分散等化器、57-1～57-nは受信機（Rx）、58はスロープ等化器を表している。

【0044】伝送ファイバの分散値は波長に対して一定ではなく分散スロープを持つため、伝送後の総分散量は波長に対して異なる値を取る。40 Gbit/s程度の超高速伝送システムでは、受信波形に許容される総分散量が数10 ps/nm程度と非常に小さいため、各波長ごとに分散等化器を設けて総分散量を零にする必要がある。

【0045】これに対して、送信端、線形中継器内、あるいは受信端に伝送ファイバとは逆のスロープを持つ分散スロープ等化器を用いることにより、一組の分散等化器と分散スロープ等化器により、すべての信号光波長に対して総分散量を零とすることが可能である。

【0046】分散スロープ等化器としては、非線形にチャープさせたチャープドファイバグレーティングや、多段の非対称Mach-Zehnder干渉計で構成されたPLC分散等化器などを用いることができる。この分散スロープ等化器の使用により、分散等化器の数を減らし、受信装置の構成、装置サイズの低減などの効果が得られる。

【0047】図5に送信器のチャープ係数に対する受信波形のアイ開口ペナルティ依存性のシミュレーション結果を示す。このシミュレーションは、伝送ファイバとして局所分散値・3 ps/nm/kmの正常分散ファイバを用い、中継器間隔100 km、総伝送距離400 kmの条件で1波長伝送を行った場合の結果であり、総分散値は0 ps/nmとしている。

【0048】図5から、送信器のチャープ係数として0以上1以下の値を取ることで、良好な受信特性が得られることがわかる。さらに、局所分散値が負で絶対値が、-3 ps/nm/km以下である場合には、伝送ファイバ中での波形歪が緩和されることから、より良好な特性が得られることは明らかである。

【0049】以上の説明から分かるように、送信器のチャープ係数を0以上1以下に設定することにより、伝送路の局所分散値が負であり、総分散値を0 ps/nmに等化した場合に、より良好な受信特性が得られる。

【0050】図6に、伝送ファイバの局所分散値に対する受信波形のアイ開口ペナルティ依存性のシミュレーション結果を示す。このシミュレーションは、送信器チャープ係数+0.7、中継器間隔100 km、総伝送距離

400 kmの条件で1波長伝送を行った場合の結果であり、総分散値は0 ps/nmとしている。図6から、局所分散値を0～-3 ps/nm 7 kmとすることにより、より良好な受信特性が得られることがわかる。

【0051】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によればファイバ中での非線形光学効果（SPM及びXPM）による波形歪を抑圧することができる。従って、ファイバへの入力パワーを増加させることが可能となるから、誤り率の低い高品質伝送システムを構築することができる利点がある。一方、同様の理由により中継器間隔を延長することにより、経済的な伝送システムを構築することができる利点もある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例を示すブロック図である。

【図2】アイ開口度1 dB劣化の等高線の計算結果の例を示す図である。

【図3】本発明の第2の実施例を示すブロック図である。

【図4】本発明の第3の実施例を示すブロック図である。

【図5】アイ開口ペナルティの伝送ファイバ局所分散依存性の計算結果の例を示す図である。

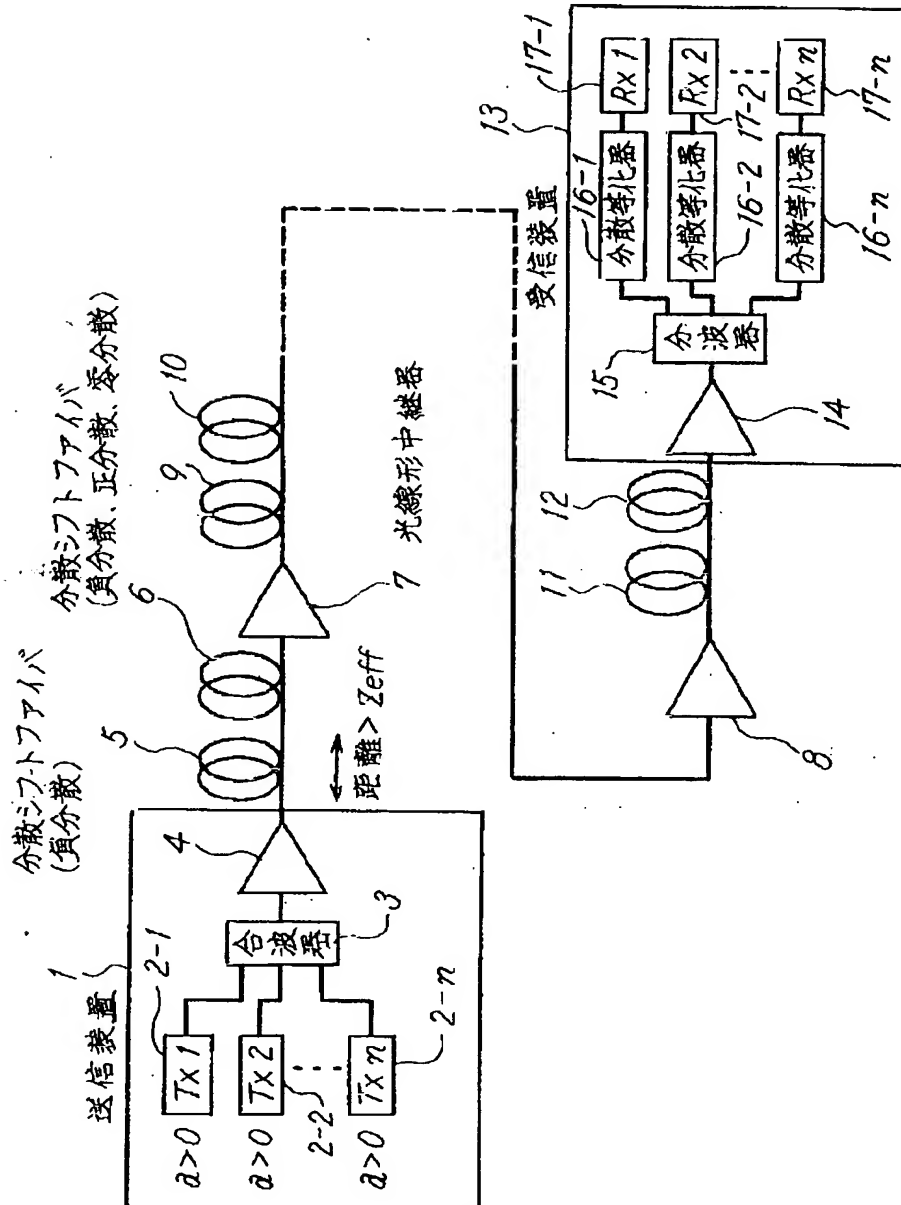
【図6】アイ開口ペナルティの伝送ファイバ局所分散依存性の計算結果の例を示す図である。

【符号の説明】

1, 21, 41 送信装置
2-1～2-n, 22-1～22-n, 42-1～42-n 送信器
3, 23, 43 合波器
4, 14, 24, 34, 44, 54 光増幅器
5, 9, 11, 25, 29, 31, 45, 49, 51 分散シフトファイバ
6, 10, 12, 26, 29, 32, 46, 50, 52 分散シフトファイバ
13, 33, 53 受信装置
7, 8, 27, 28, 47, 48 光線形中継器
15, 35, 55 分波器
16-1～16-n, 36-1～36-n, 56 分散等化器
17-1～17-n, 17-1～17-n, 57-1～57-n 受信器

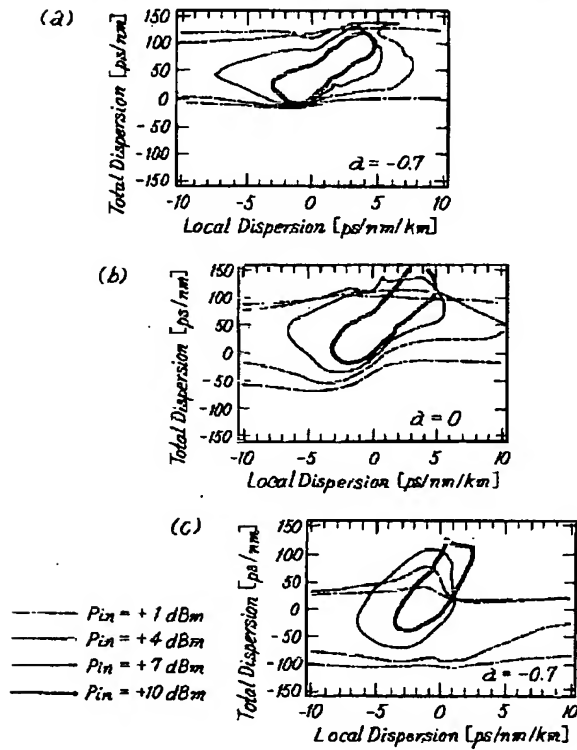
【図1】

本発明の第1の実施例を示すブロック図



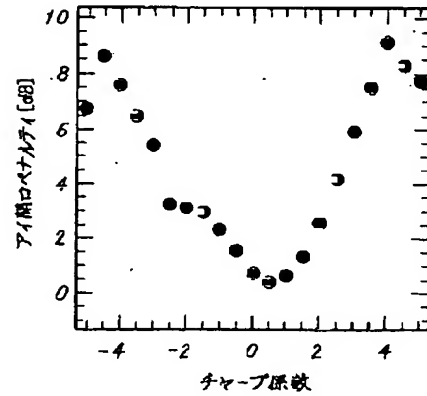
【図2】

アイ開口度/dB劣化の等高線の計算結果の例を示す図



【図5】

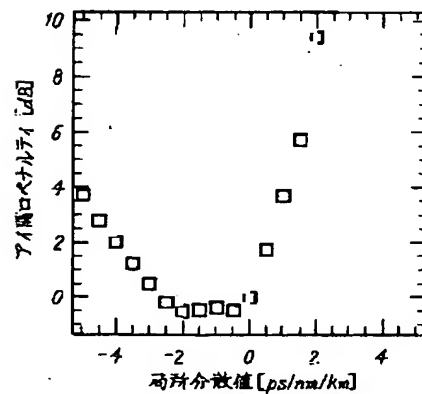
アイ開口ペナルティの伝送ファイバ局所分散依存性の計算結果の例を示す図



計算条件:
 ファイバ入力パワー: +10 dBm
 中継器間隔: 100 km
 伝送距離: 400 km
 局所分散値: -3 ps/nm/km
 総分散量: 0 ps/nm

【図6】

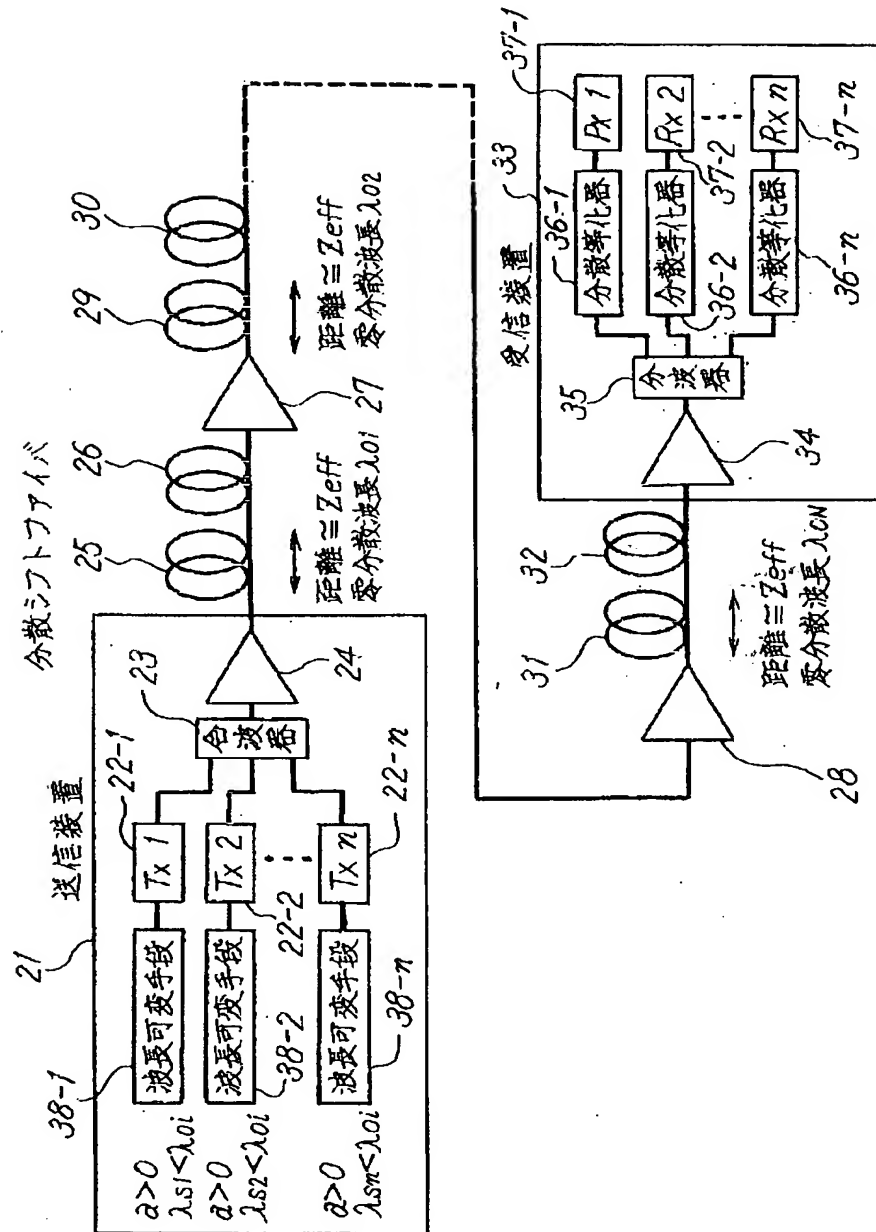
アイ開口ペナルティの伝送ファイバ局所分散値依存性の計算結果の例を示す図



計算条件:
 ファイバ入力パワー: +10
 中継器間隔: 100 km
 伝送距離: 400 km
 チャープ係数: +0.7
 総分散量: 0 ps/nm

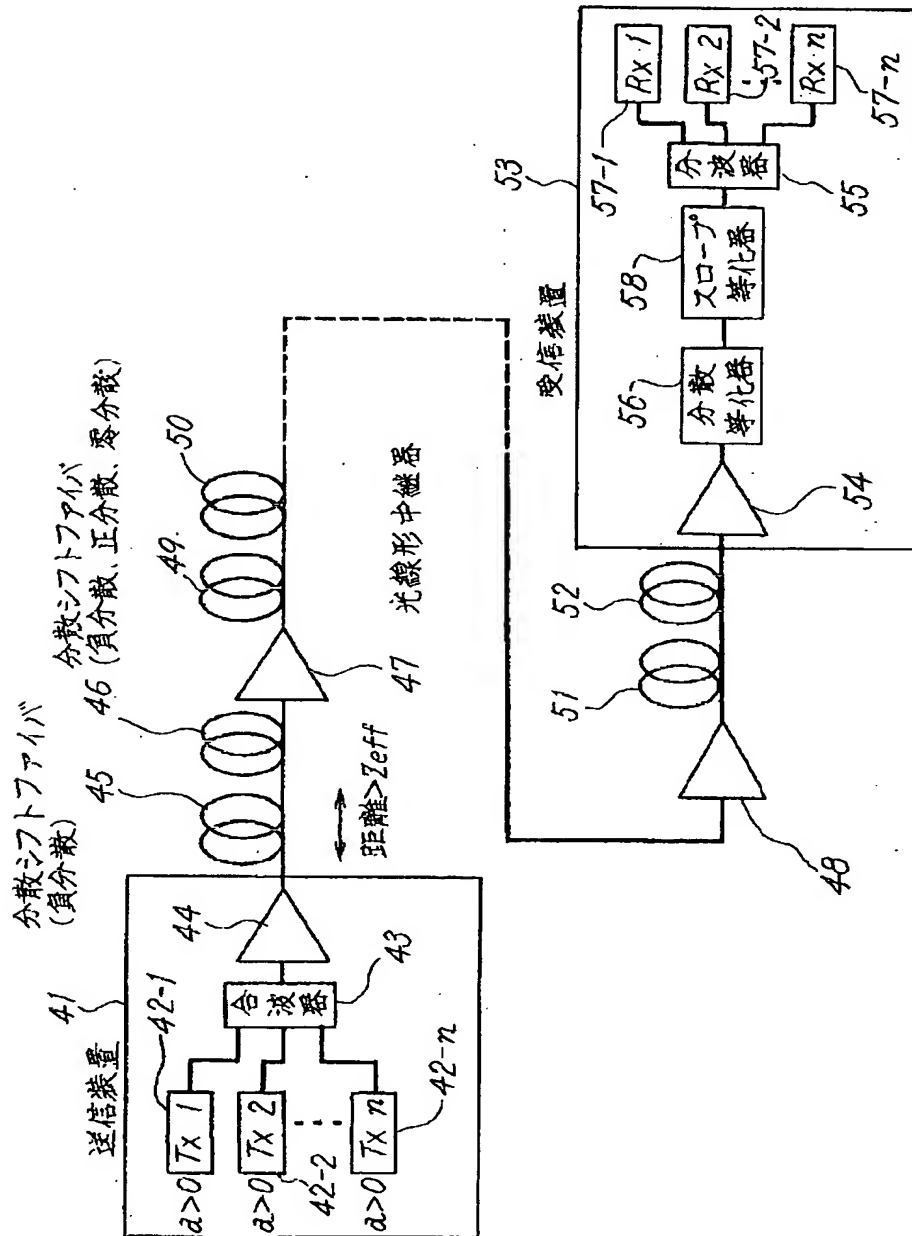
【図3】

本発明の第2の実施例を示すブロック図



【図4】

本発明の第3の実施例を示すブロック図



フロントページの続き

(72)発明者 桑原 昭一郎
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 5K002 AA01 AA03 AA06 BA05 CA01
CA13 DA02 FA01
5K046 AA08 CC30 DD01 DD02 EE01